

Así pues, al escaparse por la chimenea los gases calientes sirven para activar el tiro; es un gasto necesario hasta cierto punto, aun cuando su resultado inmediato no sea la calefacción del agua, ni la transformación de ésta en vapor. Así es que con frecuencia sucede en la práctica industrial que, mirada por un lado, una innovación que parece un progreso resulta ser un retroceso considerada desde diferente punto de vista.

Esta es la ocasión oportuna de decir algo acerca de la chimenea, que tan gran misión desempeña en el tiro.

Cuanto más alta es la chimenea de una caldera, continuando la misma sección así como las demás condiciones de la combustión, más activo es el tiro; pero no en la proporción ordinaria ni con mucho; pues si se quiere obtener un tiro de *doble* intensidad hay que *cuadruplicar* la altura de la chimenea; si de *triple*, habría que multiplicarla por 9: en una palabra, la altura de la chimenea crece en razón del cuadrado de la intensidad del tiro.

Si éste depende de la altura de la chimenea, también depende del volumen del aire á que ésta da paso, es decir, de la superficie de su sección. Según una regla formulada por Darcet, si la chimenea tiene 20 ó 30 metros de altura, la sección deberá tener tantas veces un decímetro cuadrado de superficie cuantas veces se deban quemar por hora 4,5 ó 6 kilogramos de hulla. De suerte que la sección de una chimenea de 20 metros de altura deberá ser igual á $\frac{180}{4,5}$ ó á 40 decímetros cuadrados si el hogar debe consumir en una hora 180 kilogramos de hulla. Si es redonda, su diámetro interior deberá ser igual á 0^m,75; si cuadrada, el lado tendrá 0^m,63.

Hay circunstancias en que se debe moderar el tiro, lo cual se consigue de un modo muy sencillo por medio de un *registro* ó *válvula movable*, que se ve en R en la figura 739, y merced á la cual se disminuye como se quiera la abertura que presenta la chimenea al humo y á los gases de la combustión.

Hasta la parrilla, la forma y dimensiones de sus barrotes, los intersticios que éstos dejan entre sí son elementos de gran importancia para la mejor marcha de un hogar, para la actividad del fuego, y por consiguiente para la vaporización del agua en su relación con el gasto de combustible. Todo esto debe ser calculado, dispuesto, arreglado en vista de los datos de la ciencia y los de la experiencia.

Para terminar con el hogar de la máquina de vapor, diré una sola palabra sobre un asunto que ha metido cierto ruido en la industria. Hablo de la posibilidad de obtener lo que se llama un hogar *fumívoro*. La palabra fumívoro es bastante inadecuada, porque un hogar que produce humo jamás se ve libre de él y no lo extirpa sino expulsándolo por la chimenea ó por la puerta del hogar, lo cual, en el segundo caso, procede de un tiro defectuoso. La verdadera cuestión es esta: instalar un hogar en que no se forme humo, ó hablando con más exactitud, en que al desprenderse los gases del combustible se quemen lo más completamente que sea posible. Cuando el tiro no proporciona una cantidad de aire bastante abundante, los carburos de hidrógeno incompletamente quemados se escapan en forma de humareda negra y espesa, sumamente molesta y sucia, pero que no quieren perder los propietarios de la fábrica por una razón más positiva, cual es la de que lo que se desperdicia de este modo sin haber producido calor es lo mejor de la hulla.

Pero este grave inconveniente de la falta de combustión puede resultar también, aun cuando no haya humareda. Además de los carburos hidrogenados de que acabamos

de hablar, y que son los primeros en descomponerse tan luego como empieza la combustión, contiene la hulla carbono que el oxígeno transforma en óxido de carbono y luego en ácido carbónico, si el tiro suministra suficiente cantidad de aire. Si este es malo, el óxido de carbono se escapa sin haberse quemado completamente, y puede resultar una pérdida considerable de calor, aun cuando no haya humo. En una palabra, un hogar de los llamados *fumívoros* no es necesariamente económico.

Volvamos á nuestra caldera.

Hemos dicho ya cuál era la forma de conjunto del hogar y de los hervidores. Estos están enteramente llenos de agua que se eleva por el cuerpo de la caldera hasta cierta altura. El espacio libre que queda sobre el nivel del agua es el que ocupa el vapor antes de pasar á ejercer su acción en los órganos de la máquina, por cuya razón se le da el nombre de *depósito* ó *cámara de vapor*.

La cámara de vapor debe tener una relación de dimensiones con la capacidad de la caldera, que en la práctica suele ser igual á una tercera parte. En otros términos, si el volumen de agua es 8 ó 9, el de la cámara debe ser, poco más ó menos, igual á 36, representando la unidad en este caso la cantidad de agua consumida, mejor dicho, vaporizada por hora. La razón del gran espacio dejado al depósito consiste en la necesidad de secar el vapor todo lo posible, pues éste arrastra casi siempre consigo gotitas líquidas cuya introducción en el cilindro es preciso impedir; pronto veremos por qué motivo.

En cuanto á la proporción que se da á la capacidad total de la caldera, relativamente á la cantidad de vapor que debe suministrar por horas en estado ó funcionamiento normal, está basada en el interés que debe haber en no variar demasiado de prisa la temperatura, lo cual sucedería si la alimentación periódica de la caldera (que por lo común suele hacerse con agua fría) introdujese de golpe una cantidad demasiado grande de líquido.

La fuerza prodigiosa que en sí encierra el vapor de agua á una temperatura alta, y que ejerce ante todo sus efectos en las paredes interiores de la caldera, exige que éstas tengan una extraordinaria resistencia que no se logra sino mediante ciertas condiciones de forma, espesor y calidad de los materiales empleados.

La mejor forma, bajo el punto de vista de la resistencia, es la cilíndrica, terminando la caldera en ambos extremos por fondos ó casquetes hemisféricos. La materia adoptada generalmente es el hierro forjado de primera calidad, claveteando las placas con el mayor cuidado y solidez. Pero hoy la tendencia general es sustituir el acero al hierro, que es menos resistente, sin ser mucho más económico. La caldera de las locomotoras es de cobre.

Hace algunos años que regían reglamentos especiales disponiendo el espesor que debían tener las placas según las presiones medias, calculadas en atmósferas, que estaba destinada á soportar cada caldera. Hoy han caducado estas disposiciones, sustituyéndolas con una prueba oficial á la que cada constructor está obligado á someter sus aparatos (1).

(1) Conviene, sin embargo, conocer la regla en cuestión, que los maquinistas utilizan siempre como medida de prudencia. Dicha regla es la siguiente: Valuábase el espesor en tres milímetros, á los cuales se añadía el producto de 1^{mm},8 por el número de atmósferas y por el diámetro de la caldera medido en metros y fracciones de metro. Apliquemos esta regla á una caldera de 1^m,20 de diámetro, destinada á soportar una presión de 4 atmósferas y media. El espesor del hierro será 3^{mm} + 1^{mm},8 × 1,20 × 4,5, es decir, 3^{mm} + 9^{mm},7, ó en total 12 milímetros y 7 décimas.

IV

LOS APARATOS DE SEGURIDAD: INDICADORES DE NIVEL, FLOTADORES, MANÓMETROS

Hemos supuesto la caldera convenientemente llena de agua que, calentada á la temperatura necesaria, suministra al depósito cierta cantidad de vapor, la cual ejerce una presión que varía según la máquina.

Es de grandísima importancia que el nivel del agua no baje demasiado en la caldera, ni que se eleve más allá de un límite determinado; en uno ú otro caso, se corre el riesgo de incurrir en una de las causas más frecuentes de explosión de las máquinas. Para evitarlo, se han ideado los aparatos conocidos con el nombre de *indicadores del nivel* y que en realidad merecen el de *aparatos de seguridad*. Son de muchas clases, y se suelen emplear simultáneamente los de varias.

Por esto suele verse adosado á las paredes exteriores de la caldera y bien á la vista un tubo de cristal I que comunica por sus dos extremos con el interior de aquella (figura 739). El agua penetra en este tubo, y en virtud de la ley de equilibrio de los líquidos en los vasos comunicantes, llega al mismo nivel que en el generador. El cristal del tubo ha de estar bien limpio y transparente, y por esto tiene un doble sistema de llaves que permiten interrumpir la comunicación con la caldera para limpiar el tubo mientras tanto. El maquinista no debe perder de vista jamás este aparato tan precioso como sencillo.

Un exceso momentáneo en la formación del vapor, una mala marcha de la bomba de alimentación ocasionada por un percance repentino, podrían hacer bajar bruscamente el nivel del agua y sorprender al maquinista mientras estuviese ocupado en otra parte. Por consiguiente, no basta el indicador de tubo de cristal, y se añade á él alguno de los flotadores de los diferentes sistemas conocidos y que manifiestan con señales ruidosas el estado incompleto del nivel. Tales son, por ejemplo, los *flotadores de alarma* y el *flotador magnético*.

Un flotador se compone generalmente de una bola metálica hueca que sube y baja con el nivel del agua de la caldera. Está sostenido por una espiga que forma un brazo de palanca el cual gira alrededor del punto fijo; el otro brazo sostiene un contrapeso. En los límites normales del nivel del agua, el vástago mantiene una válvula contra la abertura de un tubo que comunica con el aire exterior. Si el nivel del agua desciende más abajo de estos límites, el flotador baja con él, siendo causa de que se destape la abertura de la válvula; entonces el vapor sube por el tubo y sale por un orificio anular donde encuentra los bordes agudos de un timbre A haciéndole vibrar de modo que produzca un sonido penetrante y prolongado.

Este sonido inusitado avisa al maquinista del riesgo que amenaza, y por eso se ha dado á este aparato el nombre de *flotador de alarma*.

El *flotador indicador de cuadrante* se compone de un disco de piedra con una cadena de suspensión que, enrollándose en la garganta de una polea de cuadrante exterior F, sostiene un contrapeso. El movimiento que imprimen á la polea las variaciones del nivel se comunica á una aguja que indica así la altura del agua en la caldera.

En el *indicador magnético* de M. Lethuillier-Pinel, actualmente muy usado, concócese el movimiento del flotador por medio de un vástago que hace bajar ó subir con él un imán de herradura; delante de los dos polos de este imán hay una aguja imanada

que se mueve atraída por él, y recorre las divisiones de una escala que marca el nivel del agua de la caldera. Cuando este nivel baja de un modo anormal y peligroso, el imán arrastra consigo el brazo de una palanca que abre una válvula sujeta por un muelle. El vapor que desde la caldera entra en el tubo que contiene todo el mecanismo, sube al exterior silbando y avisa al maquinista del peligro.

Los aparatos de seguridad de una máquina de vapor no comprenden solamente los indicadores de nivel, flotadores y otros por el estilo, pues las causas de explosión no proceden exclusivamente de insuficiencia de agua en el generador; en circunstancias que más adelante indicaremos, el vapor puede adquirir una fuerza elástica que traspase de pronto y con exceso los límites de presión que se han tenido en cuenta al construir la caldera. Para prever este caso, se adaptan á ésta válvulas de seguridad cuya estructura ordinaria se representa en SS (figura 739). Su modo de funcionar es tan sencillo, que juzgamos inútil describirlo detalladamente. En realidad no son otra cosa sino la válvula de la marmita de Papin, de la cual hemos tratado al describir el Digestor del célebre inventor.

Fáltanos aún decir cómo es posible cerciorarse á cada momento, mientras funciona una máquina de vapor, de las variaciones de la tensión de éste. Los instrumentos que las indican en atmósferas y fracciones de atmósfera se llaman *manómetros*.

No todos los manómetros que se usan están basados en el mismo principio. Unos, como el *manómetro de aire libre* (fig. 741), son simplemente barómetros de sífon con el brazo mayor *b* abierto: sólo que en él no es la presión del aire atmosférico la que levanta la columna de mercurio, sino la presión del vapor, á cuyo efecto el brazo menor del manómetro está en comunicación directa con la cámara de vapor de la caldera. La diferencia de las alturas del mercurio en los dos brazos, á la cual se agrega la presión barométrica, es la que marca la del vapor.

Los *manómetros de aire comprimido* (figuras 742 y 743) son en realidad tubos de Mariotte. El vapor ejerce libremente por uno de sus brazos la presión que está equilibrada en el otro brazo por el aire comprimido y además por la diferencia del nivel de agua. El instrumento está construido de suerte que el mercurio se halla á igual altura *mn* en ambos brazos, si la presión del vapor equivale á una atmósfera. Cuando esta presión va siendo gradualmente mayor, el nivel se eleva en A, pero á alturas decrecientes para aumentos iguales de presión, según la ley de Mariotte. Así pues, cuanto más altas son las presiones, menos sensible va siendo el instrumento, inconveniente que se remedia dando al instrumento la forma que representa la figura 743. La forma cónica del brazo lleno de aire da longitudes casi iguales á las divisiones correspondientes á las atmósferas sucesivas, de suerte que se ve más fácilmente que con el primer sistema de indicación de las presiones elevadas.

La comodidad y baratura de los manómetros metálicos ha hecho que se adopten

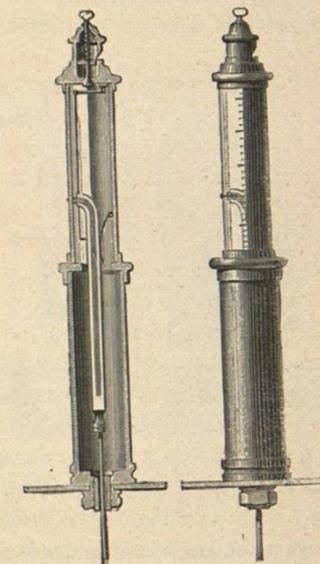


Fig. 740. — Indicador magnético de M. Lethuillier-Pinel

en un gran número de máquinas; pero no ofrecen tantas garantías de exactitud como los otros, porque las piezas que soportan la presión del vapor pueden desgastarse con el uso. Como estas piezas indican, por medio de la mayor ó menor curvatura que les imprime la fuerza elástica del vapor, el valor de éste, hay que someterlas de vez en cuando á comprobaciones y compulsas con los manómetros más exactos. El inconveniente de éstos procede principalmente de la materia de que están compuestos, del cris-

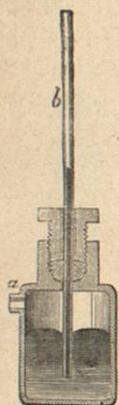


Fig. 741.—Manómetro de aire libre

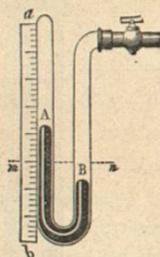


Fig. 742.—Manómetro de aire comprimido

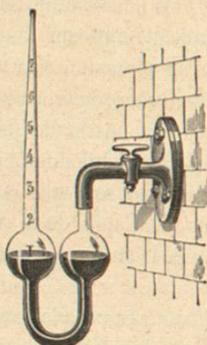


Fig. 743.—Manómetro de tubo cónico



Fig. 744.—Manómetro metálico de cuadrante

tal que se empaña y pierde su transparencia y á través del cual hay que observar el mercurio, de su fragilidad; sucediendo también que el mercurio del manómetro de aire comprimido se oxida, lo cual disminuye el volumen del aire, y entonces el instrumento marca presiones más altas que la verdadera.

Tal es, en sus partes esenciales, el aparato generador de vapor conocido en la práctica con el nombre de *caldera*. Ya hemos dicho que ésta varía mucho en cuanto á sus formas y dimensiones, según los tipos de máquinas á las cuales suministra la fuerza ó el motor. Más adelante tendremos ocasión de ver algunas de las formas más usadas y originales de las calderas en las máquinas fijas, en las navales y en las móviles, locomotoras ó locomóviles.

V

PRINCIPALES TIPOS DE CALDERAS DE VAPOR

Cuando se quiere hervir agua en una olla ó marmita, lo que naturalmente se ocurre es poner ésta al fuego, sin que nadie piense en poner el fuego dentro de la marmita, lo cual parecería contrario al sano juicio.

Y sin embargo, lo segundo es lo que se les ha ocurrido á los constructores de máquinas de vapor. En lugar de poner la caldera al fuego, han calculado que sería más ventajoso proceder al revés y meter el fuego en la caldera. De este modo se conseguiría en mayor grado el aprovechamiento de combustible, esa primera condición de la industria del vapor.

En la caldera de hervidores que acabamos de describir, aquélla está sobre el fuego; es un generador de *hogar exterior*. Pero también hay generadores de *hogar interior*, y por esto sólo pueden formarse dos tipos de calderas, que se subdividen además en numerosas variedades. Por último, distínguese un tercer tipo, aquel en que el hogar propiamente dicho es exterior y cuyos humerales ó conductos de los gases de la combustión están situados dentro del recipiente que contiene el agua. Estos son las calderas ó generadores *mixtos*.

Las primeras calderas adoptadas para las máquinas de Watt eran en forma de carro ó de *nicho*. La llama, después de calentar directamente la superficie cóncava inferior, volvía sobre sí misma por los conductos de humo laterales. Más adelante empleóse en los primeros buques de vapor; pero entonces se añadió un humeral interior por donde pasaban los gases de la combustión antes de entrar en los laterales, de suerte que se formaba así una caldera mixta.

La forma de las paredes de la caldera de nicho ó tumba la hace poco resistente; así es que la historia de los accidentes de las máquinas de vapor demuestra que la mayor parte de las explosiones han ocurrido en calderas de este sistema, por cuya razón en casi todas partes las han sustituido con otras.

Hemos descrito la caldera de dos hervidores inferiores; pero á veces no hay más que un hervidor, y otras se ponen hasta tres. Un sistema interesante y original á la vez es el de hervidores laterales de la caldera Farcot. En este sistema (fig. 745) el cuerpo cilíndrico principal A está calentado directamente por el hogar. Cuatro hervidores colocados lateralmente uno sobre otro están situados en una construcción lateral dividida en cuatro compartimientos por los cuales tienen que pasar sucesivamente los gases de la combustión antes de desembocar en la chimenea. Además, el hervidor inferior A' es el que recibe el agua de alimentación. Como los gases caminan de arriba abajo mientras que el agua sigue un camino inverso para ir del hervidor inferior á la caldera, resulta que son las partes más calientes de los gases las que se ponen en contacto con las paredes más calientes de la caldera; las partes más frías pierden todavía calor calentando el agua más fría antes de escaparse por la chimenea.

Supongamos que el cuerpo cilíndrico de una caldera contiene un tubo inferior de suficiente diámetro enteramente rodeado de agua; que se coloca el hogar en este tubo en lugar de hacer de él tan sólo un humeral: entonces se tendrá una caldera de hogar interior. En este sistema se aprovecha todo el calor del hogar, empleándolo en la calefacción directa de las paredes metálicas de la caldera, sin que la absorban los ladrillos de la obra en que descansa. Pero no sería aún bastante grande la superficie de calefacción si la caldera no estuviese rodeada exteriormente de humerales, pues entonces los inconvenientes de un hogar necesariamente reducido no estarían compensados por las ventajas de esta disposición. Sin embargo, en Inglaterra se emplean para las máquinas fijas calderas horizontales de uno ó dos hogares interiores.

En la mayor parte de las modificaciones introducidas en las calderas primitivas se

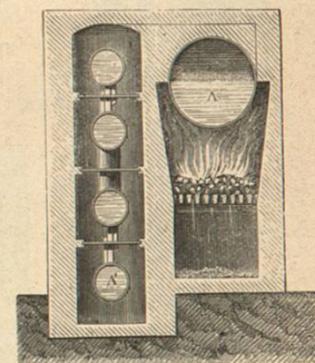


Fig. 745.—Caldera de hervidores laterales: sistema Farcot

nota la preocupación de dar todo el posible desarrollo á la superficie de caldeo, procurando á la vez reducir el volumen y el espacio ocupado por el generador. Y con efecto, según hemos visto, esta es la gran cuestión en cuya solución están interesadas la fuerza de la máquina y la economía de combustible. Los hervidores, los conductos de humo interiores ó exteriores, los hogares interiores, todo esto está ideado con el objeto de utilizar la actividad del hogar de modo que no se escape por la chimenea sino la porción de gases calientes necesaria para producir la corriente ascendente, esto es, el tiro.

Por último, poco á poco se llegó á idear la caldera tubular, cuya primera idea se remonta á Barlow (1793), pero que no fué realizada hasta 1829 por Marc Seguin y Stéphenon. He aquí en qué consiste el sistema de calderas tubulares, que aplicadas al principio á las locomotoras de las vías férreas, se han adaptado á las máquinas de navegación con las modificaciones indispensables.

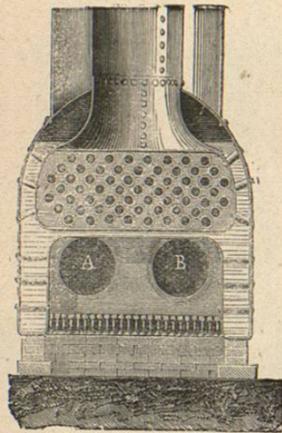


Fig. 746. — Caldera tubular marina de retorno de llama

En el cuerpo cilíndrico principal van soldados paralelamente entre sí varios tubos que por un lado van á parar al hogar y por el otro á los humerales ó á la chimenea. Estos tubos están bañados por el agua de la caldera, que llena todos sus intervalos y que está calentada directamente por los gases que atraviesan todos los espacios tubulares. Más adelante veremos en qué proporción tan enorme aumenta en virtud de esta disposición ingeniosa la superficie de calefacción y por consecuencia el poder de vaporización del generador.

En las locomotoras, locomóviles y calderas marinas, el hogar está rodeado de agua por todas partes menos por su base, de suerte que también podría considerarse la caldera tubular como de hogar interior, y la verdad es que reúne todas las ventajas de éstas. La figura 746 es un ejemplo de una caldera tubular marina, que es al mismo tiempo una caldera de *vuelta ó retorno de llama* por cuanto los gases del hogar, antes de lamer los tubos, pasan por dos grandes cilindros A y B, se reflejan en el fondo de la caldera, y vuelven por los conductos tubulares á la chimenea, saliendo por ella.

Además de los tipos que acabamos de definir, hay también calderas cuyo hogar se saca cuando se quiere, *de hogar amovible*, según la expresión técnica. Esta disposición puede ofrecer varias ventajas, especialmente la de una limpieza rápida y la facilidad de arrancar las incrustaciones. Hay también calderas de *circulación de agua*, formadas principalmente de tubos en los que se introduce continua y sucesivamente el agua que casi al punto se vaporiza, de suerte que si se interrumpe su introducción, queda también interrumpida la producción y la salida del vapor; calderas *calentadas con gas*, empleadas por lo común en los hornos altos, en los que se aprovechan de este modo los gases perdidos al salir del tragante, etc., etc.

De todos estos sistemas de calderas nos fijaremos en uno solo, que nos mostrará cómo pueden construirse generadores de modo que sean, digámoslo así, inexplosibles, por la circunstancia de que tan luego como se introduce el agua queda convertida en vapor; nos referimos á la caldera de circulación de M. de Belleville, cuyo uso va ex-

tendiéndose de día en día en las industrias de no gran importancia, en los centros populosos, y que se utiliza principalmente en las imprentas y fábricas de París.

Una serie de tubos verticales situados en el hogar mismo (fig. 747) comunica por un lado con un tubo horizontal E que conduce el agua de alimentación, y por otro con el tubo B de introducción del vapor. Cada tubo está lleno de agua hasta una altura que es la misma para todos y forma, por decirlo así, una pequeña caldera medio llena de agua y de vapor.

Regúlase la entrada del agua en los tubos por medio de un aparato especial, por la presión misma del vapor, de suerte que á medida que el agua se vaporiza, la sustituye otra cantidad de agua igual, quedando así constante el nivel en los tubos de la caldera.

La formación del vapor es, por decirlo así, inmediata; en una caldera de este sis-

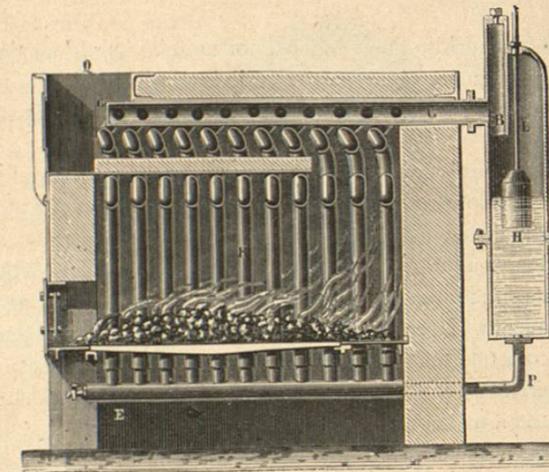


Fig. 747. — Caldera de circulación: sistema Belleville

tema de un volumen inferior á 4 metros cúbicos ($3^m,74$) y de 10 metros cuadrados de superficie de calefacción, la vaporización es de 200 kilogramos de agua por hora.

Todavía hay otros sistemas de calderas de circulación: los de MM. Isoard, Clavères, Larmanjat y Boutigny en Francia; en Inglaterra, los de M. Scott, Howard, Hayward, Tyler y Field; pero sólo podemos mencionarlos, resumiendo en pocas líneas las ventajas respectivas de las grandes calderas comunes comparadas con estos sistemas nuevos.

Las primeras tienen en su favor la sanción de una larga experiencia; producen el vapor necesario sin necesidad de mucho cuidado ni entretenimiento, y con gran regularidad; su manejo diario es sencillo y cómodo. Pero ocupan mucho sitio y están sujetas á explosiones.

Por el contrario, las calderas de circulación, mucho menos voluminosas, más baratas, y por decirlo así, inexplosibles, tienen la ventaja de formar el vapor rápidamente; pero requieren prolijos cuidados, no son más económicas que aquéllas por lo que hace al combustible, pareciendo reservadas especialmente para las máquinas de la pequeña industria.

Tenemos ya formado el vapor: veamos ahora cómo se utiliza su fuerza elástica, ó si se quiere, cómo se emplea esta fuerza para imprimir el movimiento á los órganos de la máquina.